

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/FR05/000872

International filing date: 11 April 2005 (11.04.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: FR  
Number: 0403845  
Filing date: 13 April 2004 (13.04.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 08 July 2005 (08.07.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 18 AVR. 2005

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr





26 bis, rue de Saint Pétersbourg - 75800 Paris Cedex 08

Pour vous informer : INPI DIRECT

0 825 33 85 87

0,15 € TTC/mn

Télécopie : 33 (0)1 53 04 52 65

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE page 1/2



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 @ W / 030103

REMISE DES PIÈCES DATE <b>13 AVRIL 2004</b> LIEU <b>75 INPI PARIS 34 SP</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>13 AVR. 2004</b> Vos références pour ce dossier (facultatif) <b>055040089</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b> <b>CABINET PLASSERAUD</b>  65/67 rue de la Victoire 75440 PARIS CEDEX 09	
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b>		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N° _____ Date _____ N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/> N° _____ Date _____	
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> PROCEDE POUR INVERSER TEMPORELLEMENT UNE ONDE.			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Personne morale</b> <input type="checkbox"/> <b>Personne physique</b>	
Nom ou dénomination sociale Prénoms Forme juridique N° SIREN Code APE-NAF		CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS - Etablissement Public, Scientifique et Technologique EPST 3, rue Michel Ange 75794 PARIS Cédex 16 FRANCE Française	
Domicile ou siège Rue Code postal et ville Pays		N° de téléphone (facultatif) Adresse électronique (facultatif)	
Nationalité		N° de télécopie (facultatif)	
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			

Remplir impérativement la 2<sup>ème</sup> page



# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 2/2

BR2

REMISE DES PIÈCES	13 AVRIL 2004
DATE	75 INPI PARIS 34 SP
LIEU	0403845
N° D'ENREGISTREMENT	
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	

REF040089

DB 540 W / 191203

<b>6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)</b>	
Nom	
Prénom	
Cabinet ou Société	Cabinet PLASSERAUD
Nationalité	
N ° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel	
Adresse	Rue
	Code postal et ville
	Pays
N° de téléphone (facultatif)	65/67 rue de la Victoire
N° de télécopie (facultatif)	75440 PARIS CEDEX 09
Adresse électronique (facultatif)	
<b>7 INVENTEUR (S)</b>	
Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>	
Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Choix à faire obligatoirement au dépôt (cf. Notice explicative Rubrique 8)	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>	
Uniquement pour les personnes physiques	
<input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence): AG	
<b>10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS</b>	
<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences	
Le support électronique de données est joint	<input type="checkbox"/>
La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe	<input type="checkbox"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes	
<b>11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)</b>	
Eric BURBAUD 04-0304	
<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>	
L. MARIELLO	

Procédé pour inverser temporellement une onde.

La présente invention est relative aux procédés pour inverser temporellement des ondes.

Plus particulièrement, l'invention concerne un  
5 procédé pour inverser temporellement une onde correspondant à au moins un signal initial  $s(t)$  où  $t$  est le temps, ce signal initial  $s(t)$  présentant une certaine fréquence centrale  $f_0$  et une bande passante  $\Delta f$ , procédé dans lequel on détermine un signal d'inversion temporel  $\alpha.s(-t)$ , où  $\alpha$   
10 est un coefficient multiplicatif constant ou variable dans le temps et  $s(-t)$  est l'inversion temporelle de  $s(t)$ .

Le document EP-A-0 803 991 décrit un exemple d'un tel procédé, qui présente l'inconvénient de faire appel à des approximations de l'inversion temporelle de certains  
15 signaux, ce qui ne fonctionne que dans certaines conditions particulières, notamment lorsque la bande passante est très étroite.

La présente invention a notamment pour but de pallier cet inconvénient.

20 A cet effet, selon l'invention, un procédé du genre en question est caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- on applique au signal initial  $s(t)$  une première transformation adaptée pour abaisser la fréquence centrale  
25 du signal et pour sensiblement ne pas entraîner de perte d'information par rapport au signal initial, ladite première transformation produisant un premier ensemble de signaux transformés comprenant au moins un premier signal transformé  $K_i(t)$  de plus faible fréquence centrale que le  
30 signal initial, ledit premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$  étant représentatif dudit signal initial  $s(t)$ ,

- on applique à chaque premier signal transformé  $K_i(t)$ , une deuxième transformation produisant un deuxième  
35 signal transformé  $K'i(t)$  sensiblement de même fréquence

centrale que le premier signal transformé, ladite deuxième transformation produisant ainsi un deuxième ensemble de signaux transformés  $K'i(t)$  à partir du premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$ , ladite deuxième transformation  
5 étant choisie pour que ledit deuxième ensemble de signaux transformés soit représentatif du signal d'inversion temporel  $s(-t)$ ,

- on applique au deuxième ensemble de signaux transformés  $K'i(t)$  une troisième transformation qui génère  
10 le signal d'inversion temporel  $\alpha.s(-t)$ .

Grâce à ces dispositions, on parvient à produire une onde inversée temporellement sans avoir à travailler à la fréquence  $f_0$ , ce qui, en mode numérique, nécessiterait d'échantillonner le signal à une fréquence  
15 d'échantillonnage au moins égale à deux fois la fréquence maximale du signal  $s(t)$  et impliquerait donc l'utilisation de matériels relativement coûteux, notamment si la fréquence  $f_0$  est élevée. Au contraire, selon l'invention, on tire parti du fait que la bande passante  $\Delta f$  du signal  
20  $s(t)$  est inférieure à  $f_0$  pour ramener ledit signal à une plus faible fréquence sans perte d'information, ce qui est généralement possible par une opération simple et standard, par exemple de type démodulation. Le ou les signaux  $K_i(t)$  de plus faible fréquence peuvent alors être échantillonnés  
25 et traités pour obtenir le ou les signaux  $K'i(t)$  représentatifs de  $s(-t)$ , avec une électronique fonctionnant à relativement faible fréquence et donc peu coûteuse. Par une opération standard par exemple de type modulation (par exemple l'opération inverse de celle appliquée initialement  
30 au signal  $s(t)$ ), on revient ensuite à plus haute fréquence en recréant le signal  $s(-t)$ .

Dans des modes de réalisation préférés de l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

35 - la bande passante  $\Delta f$  est inférieure à  $f_0$  ;

- la troisième transformation est une transformation inverse de la première transformation ;

- la première transformation est une démodulation adaptée pour éliminer un signal de porteuse de fréquence  $f_0$  pour extraire ledit premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$  du signal initial  $s(t)$ , et la troisième transformation est une modulation d'un signal porteur de fréquence  $f_0$  par le ou les signaux  $K'_i(t)$  ;

- la première transformation est une démodulation IQ produisant deux premiers signaux transformés  $K_1(t)=I(t)$  et  $K_2(t)=Q(t)$  tels que  $s(t) = I(t)\cos(2\pi.f_0.t) + Q(t)\sin(2\pi.f_0.t)$ , la deuxième transformation transforme le signal  $K_1(t)$  en  $K'_1(t)=I(-t)$  et le signal  $K_2(t)$  en  $K'_2(t)=-Q(-t)$ , et la troisième transformation est une modulation IQ inverse de ladite démodulation ;

- la première transformation est une démodulation en amplitude et phase produisant deux premiers signaux transformés  $K_1(t)=A(t)$ , et  $K_2(t)=\phi(t)$ , où  $A(t)$  est l'amplitude du signal  $s(t)$  et  $\phi(t)$  la phase du signal  $s(t)$ , la deuxième transformation transforme le signal  $K_1(t)$  en  $K'_1(t)=A(-t)$  et le signal  $K_2(t)$  en  $K'_2(t)=-\phi(-t)$ , et la troisième transformation est une modulation inverse de ladite démodulation, produisant le signal d'inversion temporelle  $s(-t)=A(-t)\cos[2\pi.f_0.t-\phi(-t)]$  ;

- la première transformation est un sous échantillonnage, avec une fréquence d'échantillonnage inférieure à  $2f_0$  mais au moins égale à  $2\Delta f$ , produisant un seul signal transformé  $K_1(t)$ , la deuxième transformation est une inversion temporelle transformant le signal  $K_1(t)$  en  $K'_1(t)=K_1(-t)$ , et la troisième transformation est un filtrage de bande passante sensiblement égale à  $\Delta f$  et centrée sur  $f_0$ , transformant  $K'_1(t)$  en  $s(-t)$  ;

- la première transformation est un décalage en fréquence vers le bas, en bande intermédiaire, produisant un seul premier signal transformé  $K_1(t)$ , la deuxième



transformation est une inversion temporelle transformant le signal  $K_1(t)$  en  $K'_1(t)=K_1(-t)$ , et la troisième transformation est un décalage en fréquence vers le haut, inverse dudit décalage en fréquence vers le bas ;

5           - les première et troisième transformations sont réalisées sur des signaux analogiques, chaque premier signal transformé subit un échantillonnage et la deuxième transformation est réalisée numériquement avant de convertir chaque deuxième signal transformé en signal  
10 analogique ;

          - l'échantillonnage est réalisé à une fréquence d'échantillonnage inférieure à la fréquence centrale  $f_0$  ;

          - l'onde est électromagnétique (par exemple une onde radio, voire une onde optique) ;

15           - la fréquence centrale  $f_0$  est comprise entre 0,7 et 50 GHz ;

          - la fréquence centrale  $f_0$  est comprise entre 0,7 et 10 GHz ;

          - l'onde est choisie parmi les ondes acoustiques et les ondes élastiques.  
20

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description suivante d'une de ses formes de réalisation, donnée à titre d'exemple non limitatif, en regard des dessins joints.

25           Sur les dessins :

          - la figure 1 est un schéma de principe représentant un exemple de dispositif d'émission/réception d'ondes permettant de mettre en œuvre un procédé selon une forme de réalisation de l'invention,

30           - et les figures 2 et 3 illustrent une application particulière du dispositif de la figure 1.

La figure 1 représente un exemple de dispositif d'émission et de réception d'ondes, en l'occurrence des ondes électromagnétiques radio, permettant de capter une  
35 onde et de l'inverser temporellement.

A cet effet, le dispositif 1 d'émission et de réception d'ondes représenté sur la figure 1 comporte par exemple :

- une unité centrale électronique 2, par exemple  
5 un micro-ordinateur ou un circuit électronique à microprocesseur(s),

- une antenne de réception 3 d'ondes radio, adaptée pour capter un signal initial  $s(t)$  correspondant à une onde électromagnétique, où  $t$  représente le temps,

10 - un ensemble démodulateur 4 recevant le signal  $s(t)$  initial capté par l'antenne de réception 3 et relié à l'unité centrale électronique 2 pour lui transmettre des signaux démodulés,

- un ensemble modulateur 5 relié à l'unité  
15 centrale électronique 2 pour recevoir de cette unité centrale des signaux démodulés représentatifs de l'inversion temporelle  $s(-t)$  du signal initial  $s(t)$ ,

- et une antenne émettrice 6 reliée à l'ensemble  
20 modulateur 5 pour émettre une onde électromagnétique correspondant au signal modulé  $\alpha.s(-t)$ , où  $s(-t)$  est l'inversion temporelle du signal initial  $s(t)$  et  $\alpha$  est un coefficient multiplicatif, constant ou variable dans le temps.

Tous ces éléments peuvent, le cas échéant, être  
25 compris dans un même appareil électronique tel qu'un radiotéléphone, une base fixe radiotéléphonique, ou autre.

Le signal initial  $s(t)$  présente une certaine fréquence centrale  $f_0$  et une bande passante  $\Delta f$  petite par rapport à  $f_0$ , par exemple inférieure à  $f_0$  (généralement  $\Delta f$   
30 est petite par rapport  $f_0$ ).

Le signal initial  $s(t)$  peut s'écrire en notation réelle :  $s(t)=A(t)\cos[2\pi.f_0.t+\phi(t)]$ , où  $A(t)$  est l'amplitude du signal  $s(t)$  et  $\phi(t)$  sa phase.

Le signal  $s(t)$  est donc, de façon générale, un  
35 signal modulé en amplitude et phase à partir d'une onde

porteuse de fréquence  $f_0$ , cette fréquence  $f_0$  étant généralement connue à l'avance.

Dans l'exemple représenté sur la figure 1, l'ensemble démodulateur 4 comprend un démodulateur IQ 7 qui applique une première transformation au signal  $s(t)$  pour  
5 générer deux premiers signaux transformés  $K_1(t) = I(t)$  et  $K_2(t) = Q(t)$  correspondant respectivement à la modulation en phase et en quadrature du signal. En notation réelle, ces signaux  $I(t)$ ,  $Q(t)$  sont tels que :

10 
$$s(t) = I(t) \cos(2\pi.f_0.t) + Q(t) \sin(2\pi.f_0.t).$$

Ces signaux  $I(t)$ ,  $Q(t)$  sont fournis par le démodulateur IQ 7 à un convertisseur analogique digital 8 qui échantillonne lesdits signaux et les transmet sous forme numérique à l'unité centrale 2.

15 Pour générer les signaux  $I(t)$ ,  $Q(t)$ , le démodulateur IQ 7 peut par exemple comporter un amplificateur 9 qui reçoit le signal  $s(t)$  de l'antenne 3 et qui alimente deux circuits parallèles :

- un premier circuit dans lequel le signal  $s(t)$   
20 est multiplié par un signal  $\cos(2\pi.f_0.t)$  et dans lequel le résultat de la multiplication est transmis à un filtre passe-bas 10 en sortie duquel se retrouve le signal  $I(t)$ ,

- et un deuxième circuit dans lequel le signal  $s(t)$  est multiplié avec un signal  $\sin(2\pi.f_0.t)$  et dans  
25 lequel le résultat de cette multiplication est transmis à un filtre passe-bas 10 en sortie duquel se retrouve le signal  $Q(t)$ .

A partir des signaux  $I(t)$ ,  $Q(t)$  échantillonnés, l'unité centrale 2 applique aux signaux une deuxième  
30 transformation permettant d'obtenir des deuxièmes signaux transformés  $K'_1(t) = I(-t)$  et  $K'_2(t) = -Q(-t)$ .

Ces signaux  $K'_1(t)$ ,  $K'_2(t)$  sont transmis sous forme numérique par l'unité centrale 2, en temps réel ou en temps différé, à l'ensemble modulateur 5, et ledit ensemble  
35 modulateur applique à ces signaux une troisième

transformation, inverse de la première transformation susmentionnée, pour obtenir un signal  $s(-t)$  qui, en notation réelle, peut s'écrire :

$$s(-t) = A(-t) \cos[2\pi.f_0.t - \varphi(-t)].$$

5 Dans l'exemple représenté sur la figure 1, l'ensemble modulateur 5 comporte un convertisseur analogique-digital 11 qui reçoit les signaux  $I(-t)$ ,  $-Q(-t)$  sous forme échantillonnée de l'unité centrale 2 et qui remet ces signaux sous forme analogique, le convertisseur  
10 11 alimentant deux circuits parallèles d'un modulateur IQ 12 :

- un premier circuit dans lequel le signal  $K'1(t) = I(-t)$  est multiplié avec un signal  $\cos(2\pi.f_0.t)$ , le résultat de cette multiplication traversant  
15 éventuellement un filtre passe-bande 13,

- et un deuxième circuit dans lequel le signal  $-Q(-t)$  est multiplié avec un signal  $\sin(2\pi.f_0.t)$ , le résultat de cette multiplication traversant éventuellement un filtre passe-bande 13.

20 Les sorties des deux filtres passe-bande 13 sont additionnées pour reconstituer le signal  $s(-t)$  qui est transmis, par exemple par l'intermédiaire d'un amplificateur 14, à l'antenne émettrice 6.

Au cours d'une ou plusieurs des première, deuxième  
25 et troisième transformations, le signal peut être multiplié par des coefficients constants ou non, de sorte que le signal d'inversion temporelle finalement obtenu peut s'écrire  $\alpha.s(-t)$ ,  $\alpha$  étant un coefficient constant ou non (dans tous les cas de figure, si  $\alpha$  est un coefficient  
30 variable dans le temps, il est de préférence lentement variable par rapport à  $s(t)$ ).

On notera que dans le processus de traitement des signaux, les conversions analogiques-numériques et le traitement d'inversion temporelle proprement dit sont  
35 effectués sur les signaux démodulés, ou signaux en bande de

base, donc à une fréquence généralement inférieure à  $f_0$ , beaucoup plus faible que la fréquence des signaux  $s(t)$  ou  $s(-t)$ . On peut donc utiliser, pour effectuer ces opérations, une électronique beaucoup plus simple que celle  
5 qui serait nécessaire pour inverser temporellement directement le signal  $s(t)$  afin d'obtenir le signal d'inversion temporelle  $s(-t)$ .

A titre d'exemple, la fréquence centrale  $f_0$  de l'onde électromagnétique peut être comprise entre 0,7 et 50  
10 GHz par exemple entre 0,7 et 10 GHz. La bande passante  $\Delta f$  peut être comprise par exemple entre 1 et 500 MHz, par exemple entre 1 et 5 MHz.

Bien entendu, ces valeurs de fréquences ne sont pas limitatives, et le procédé selon l'invention pourrait être  
15 utilisé pour traiter toutes sortes d'ondes électromagnétiques, y compris des ondes dont les fréquences se situeraient dans la plage des ondes optiques, notamment en remplaçant les antennes 3, 6 et les ensembles démodulateurs et modulateurs 4, 5 par des éléments  
20 équivalents fonctionnant en optique.

On notera par ailleurs que les première deuxième et troisième transformations susmentionnées pourraient être différentes de celles explicitées ci-dessus, pourvu que :

- la première transformation produise un premier  
25 ensemble de signaux transformés, comprenant au moins un premier signal transformé  $K_i(t)$  de plus faible fréquence centrale que le signal initial  $s(t)$ , ledit premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$  étant représentatif du signal initial  $s(t)$  : autrement dit, la première transformation  
30 abaisse la fréquence centrale du signal, sensiblement sans perte d'information par rapport au signal initial  $s(t)$ ,

- la deuxième transformation produise au moins un deuxième signal transformé  $K'_i(t)$  sensiblement de même fréquence centrale que le premier signal transformé, ledit  
35 deuxième ensemble de signaux transformés  $K'_i(t)$  étant

représentatif du signal d'inversion temporelle  $s(-t)$ ,

- et la troisième transformation génère le signal d'inversion temporelle  $s(-t)$  à partir du deuxième ensemble de signaux transformés, cette troisième transformation  
5 pouvant avantageusement être la transformation inverse de la première transformation susmentionnée.

Comme expliqué précédemment, le signal peut être multiplié par des coefficients constants ou non au cours d'une ou plusieurs de ces transformations, auquel cas le  
10 signal final est  $\alpha.s(-t)$ .

Dans les cas les plus courants, la première transformation peut être une transformation de type démodulation adaptée pour éliminer le signal de porteuse de fréquence  $f_0$  et en extraire des signaux de modulation  $K_i(t)$   
15 ou signaux en bande de base, la troisième transformation étant la modulation inverse, obtenue en modulant un signal porteur de fréquence  $f_0$  par le ou les signaux  $K'_i(t)$ .

Ces modulations et démodulations peuvent être une démodulation IQ et une modulation IQ comme explicité ci-dessus, mais peuvent le cas échéant être une démodulation  
20 et une modulation en amplitude et phase. Dans ce cas, la démodulation, constituant la première transformation susmentionnée, produit deux premiers signaux transformés  $K_1(t) = A(t)$  et  $K_2(t) = \phi(t)$  correspondant respectivement à l'amplitude et à la phase du signal  $s(t)$ . La deuxième  
25 transformation génère alors, à partir des signaux  $K_1(t)$  et  $K_2(t)$ , des deuxièmes signaux transformés  $K'_1(t) = A(-t)$  et  $K'_2(t) = -\phi(-t)$ , et la troisième transformation est une modulation inverse de ladite démodulation, produisant le  
30 signal d'inversion temporelle  $s(-t)$  par modulation d'une porteuse de fréquence  $f_0$  en amplitude et phase avec les deuxièmes signaux transformés  $K'_1(t)$  et  $K'_2(t)$  :

$$s(-t) = A(-t) \cos[2\pi.f_0.t - \phi(-t)].$$

Par ailleurs, les première et troisième  
35 transformations susmentionnées peuvent également être des

transformations différentes d'une démodulation et d'une modulation.

Par exemple, la première transformation peut être un sous-échantillonnage du signal  $s(t)$ , avec une fréquence d'échantillonnage inférieure à  $2f_0$  mais au moins égale à  $2\Delta f$ , produisant un seul signal transformé  $K_1(t)$  échantillonné. Dans ce cas, la deuxième transformation peut consister en une inversion temporelle qui génère un deuxième signal transformé  $K'_1(t) = K_1(-t)$ , et la troisième transformation peut consister en un filtrage du signal  $K'_1(t)$  après conversion en signal analogique, ce filtrage ayant une bande passante centrée sur la fréquence  $f_0$  et de largeur  $\Delta f$ .

Selon une autre variante, la première transformation peut simplement consister en un décalage en fréquence vers le bas, en bande intermédiaire, produisant un seul premier signal transformé  $K_1(t)$  ayant une fréquence centrale supérieure à  $\Delta f/2$ , auquel cas la deuxième transformation est une inversion temporelle transformant le signal  $K_1(t)$  en  $K'_1(t) = K_1(-t)$ , et la troisième transformation est un décalage en fréquence vers le haut, inverse dudit décalage en fréquence vers le bas appliqué initialement au signal  $s(t)$ .

Par ailleurs, on notera que l'onde électromagnétique correspondant au signal d'inversion temporelle  $s(-t)$  n'est pas forcément réémise immédiatement après que l'onde  $s(t)$  a été reçue par l'antenne 3. Au contraire, le signal  $s(-t)$ , ou le ou les signaux  $K'_i(t)$  représentatifs de ce signal d'inversion temporelle  $s(-t)$ , peuvent être déterminés pendant une phase d'apprentissage et rester en mémoire de l'unité centrale 2 pour être réutilisés ensuite afin d'émettre une onde électromagnétique ayant des caractéristiques de focalisation spatiale et temporelle souhaitées.

Par exemple, si l'unité centrale 2, l'ensemble

démodulateur 4 et l'ensemble modulateur 5 sont intégrés dans un radiotéléphone, et si des éléments similaires sont intégrés dans une base fixe appartenant par exemple à un réseau de radiotéléphonie cellulaire, on peut concevoir  
5 que, pendant ladite phase d'apprentissage, la base fixe et/ou le radiotéléphone émettent un signal prédéterminé, par exemple un signal impulsionnel, et que le dispositif (radio téléphone ou base fixe) qui reçoit ce signal mémorise le signal d'inversion temporelle  $s(-t)$   
10 correspondant ou les deuxièmes signaux transformés  $K'i(t)$  représentatifs de ce signal d'inversion temporelle.

Dans ce cas, lorsque l'un des deux dispositifs doit envoyer un message  $m(t)$  à l'autre de ces dispositifs, il peut calculer un signal d'émission  $S(t) = m(t) \otimes s(-t)$  où  $\otimes$   
15 est l'opérateur convolution, et émettre une onde électromagnétique correspondant à ce signal  $S(t)$ . Dans ce cas, particulièrement si le milieu ambiant est très réverbérant pour les ondes électromagnétiques, ce qui est généralement le cas notamment en milieu urbain, l'onde  
20 électromagnétique émise se focalise avec une grande précision sur le dispositif qui doit recevoir le message, et le signal capté par ce dispositif récepteur est directement le message  $m(t)$ .

On peut ainsi obtenir une communication  
25 bidirectionnelle entre les deux appareils qui est extrêmement discrète, puisque les ondes électromagnétiques, du fait de leur focalisation étroite, ne sont captées efficacement que par les deux appareils. En milieu réverbérant, on augmente ainsi considérablement le débit  
30 d'ensemble d'un réseau de télécommunication radio intégrant l'ensemble de ces appareils.

Bien entendu, l'étape d'apprentissage au cours de laquelle sont déterminés les signaux  $K'i(t)$  dans les différents appareils peut être réitérée à intervalles  
35 réguliers ou non, pour tenir compte des modifications du



milieu (conditions météorologiques, déplacements d'objets réfléchissant les ondes électromagnétiques tels que véhicules ou autres, etc.) et/ou des déplacements des radiotéléphones mobiles intégrés dans le réseau de  
5 télécommunication.

Par ailleurs, on notera également que les antennes émettrice 6 et réceptrice 3 peuvent être confondues et remplacées par une seule antenne, par exemple dans des applications de télécommunications.

10 Toutefois, ces antennes ne sont pas forcément situées au voisinage l'une de l'autre. De plus, l'antenne réceptrice 3 peut éventuellement n'être utilisée qu'au cours d'une étape d'apprentissage initiale permettant de déterminer les signaux  $K'i(t)$ , par exemple lorsqu'on  
15 souhaite utiliser le procédé selon l'invention uniquement pour une communication unidirectionnelle, ou pour des applications autres que des applications de télécommunication, notamment des applications visant à détruire ou chauffer un milieu de façon très localisée en  
20 focalisant des ondes électromagnétiques au point initial où se trouvait l'antenne réceptrice 3.

Dans ce cas, il est possible par exemple, au cours de la phase d'apprentissage, de faire émettre un signal prédéterminé  $S(t)$  par l'antenne émettrice 6, de capter  
25 l'onde électromagnétique  $s(t)$  correspondante, au moyen de l'antenne réceptrice 3, à un emplacement 15 (figure 2) où l'on souhaite focaliser les ondes électromagnétiques, puis de déterminer les signaux  $K'i(t)$  par l'une des méthodes indiquées précédemment, ce qui permet ensuite de générer,  
30 au niveau de l'antenne 6, un signal d'inversion temporelle  $s(-t)$ . Lorsqu'on émet ensuite ce signal  $s(-t)$  au niveau de l'antenne émettrice 6, éventuellement après démontage de l'antenne 3 (figure 3), le signal prédéterminé (par exemple un signal impulsionnel, ou autre) initialement émis par  
35 l'antenne émettrice 6 au cours de la phase d'apprentissage,

est reçu de façon très focalisée à l'emplacement 15 occupé initialement par l'antenne réceptrice 3.

Pour focaliser très précisément les ondes sur la zone 15, il est également possible d'émettre initialement le signal souhaité  $S(t)$  depuis la zone 15, puis de capter le signal correspondant  $s(t)$  au niveau de l'antenne 3, confondue avec l'antenne 6 ou très voisine de cette antenne 6. En ré-émettant ensuite le signal  $\alpha.s(-t)$  par l'antenne 6, on peut générer une onde  $S(t)$  focalisée très précisément sur la zone 15, le cas échéant après enlèvement de l'antenne ayant initialement émis le signal  $S(t)$ .

Pour améliorer la qualité de la focalisation des ondes, il est possible d'utiliser le procédé selon l'invention en émettant et/ou en recevant les ondes par l'intermédiaire d'une cavité réverbérant les ondes électromagnétiques (ou, lorsque les ondes sont acoustiques, par l'intermédiaire d'une « cavité » au sens acoustique, constituée par exemple par un objet solide réverbérant pour les ondes acoustiques, par exemple comme décrit dans la demande de brevet français n°03 09140 déposée le 25 juillet 2003).

Par ailleurs on notera qu'une même unité centrale 2 pourrait être reliée à un réseau de plusieurs antennes 3 et 6, reliées par exemple chacune à un ensemble 4 ou 5 respectivement démodulateur ou modulateur. Par exemple, si le dispositif 1 comporte un nombre  $J$  d'antennes réceptrices 3 et un nombre  $L$  d'antennes émettrices 6, l'unité centrale 2 pour calculer  $J*L$  ensembles de signaux  $K_{ij1}(t)$  qui permettent de déterminer  $J*L$  signaux d'inversion temporelle  $s_{j1}(-t)$ , à partir de  $J*L$  signaux initiaux  $s_{j1}(t)$ .

On notera également que, dans les différents modes de réalisation de l'invention, les signaux  $K'i(t)$  et/ou les signaux  $s(-t)$  correspondant à une ou plusieurs antennes peuvent être utilisés le cas échéant de façon itérative, par exemple comme indiqué dans le document WO-A-03/101302,

de façon à maximiser la précision de la focalisation des ondes électromagnétiques.

Enfin, le procédé selon l'invention est applicable non seulement aux ondes électromagnétiques, mais également  
5 aux ondes acoustiques ou élastiques, en remplaçant simplement les antennes 3, 6 par des transducteurs acoustiques, en permettant des applications de communication par voie acoustique (par exemple de communication sous-marine) ou encore d'imagerie ultrasonore  
10 (échographie ou similaire, microscopie, etc.).

REVENDICATIONS

1. Procédé pour inverser temporellement une onde correspondant à au moins un signal initial  $s(t)$ , où  $t$  est le temps, ce signal initial  $s(t)$  présentant une certaine fréquence centrale  $f_0$ , procédé dans lequel on détermine un signal d'inversion temporel  $\alpha.s(-t)$ , où  $\alpha$  est un coefficient multiplicatif et  $s(-t)$  est l'inversion temporelle de  $s(t)$ ,  
10 **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins les étapes suivantes :

- on applique au signal initial  $s(t)$  une première transformation adaptée pour abaisser la fréquence centrale du signal et pour sensiblement ne pas entraîner de perte d'information par rapport au signal initial, ladite première transformation produisant un premier ensemble de signaux transformés comprenant au moins un premier signal transformé  $K_i(t)$  de plus faible fréquence centrale que le signal initial, ledit premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$  étant représentatif dudit signal initial  $s(t)$ ,

- on applique à chaque premier signal transformé  $K_i(t)$ , une deuxième transformation produisant un deuxième signal transformé  $K'i(t)$  sensiblement de même fréquence centrale que le premier signal transformé, ladite deuxième transformation produisant ainsi un deuxième ensemble de signaux transformés  $K'i(t)$  à partir du premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$ , ladite deuxième transformation étant choisie pour que ledit deuxième ensemble de signaux transformés soit représentatif du signal d'inversion temporel  $s(-t)$ ,

- on applique au deuxième ensemble de signaux transformés  $K'i(t)$  une troisième transformation qui génère le signal d'inversion temporel  $\alpha.s(-t)$ .

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la

bande passante  $\Delta f$  est inférieure à  $f_0$ .

3. Procédé selon la revendication 1 ou revendication 2, dans lequel la troisième transformation est une transformation inverse de la première transformation.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel la première transformation est une démodulation adaptée pour éliminer un signal de porteuse de fréquence  $f_0$  pour extraire ledit premier ensemble de signaux transformés  $K_i(t)$  du signal initial  $s(t)$ , et la troisième transformation est une modulation d'un signal porteur de fréquence  $f_0$  par le ou les signaux  $K'_i(t)$ .

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la première transformation est une démodulation IQ produisant deux premiers signaux transformés  $K_1(t)=I(t)$  et  $K_2(t)=Q(t)$  tels que  $s(t) = I(t)\cos(2\pi.f_0.t) + Q(t)\sin(2\pi.f_0.t)$ , la deuxième transformation transforme le signal  $K_1(t)$  en  $K'_1(t)=I(-t)$  et le signal  $K_2(t)$  en  $K'_2(t)=-Q(-t)$ , et la troisième transformation est une modulation IQ inverse de ladite démodulation.

6. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la première transformation est une démodulation en amplitude et phase produisant deux premiers signaux transformés  $K_1(t)=A(t)$ , et  $K_2(t)=\varphi(t)$ , où  $A(t)$  est l'amplitude du signal  $s(t)$  et  $\varphi(t)$  la phase du signal  $s(t)$ , la deuxième transformation transforme le signal  $K_1(t)$  en  $K'_1(t)=A(-t)$  et le signal  $K_2(t)$  en  $K'_2(t)=-\varphi(-t)$ , et la troisième transformation est une modulation inverse de ladite démodulation, produisant le signal d'inversion temporelle  $s(-t)=A(-t)\cos[2\pi.f_0.t-\varphi(-t)]$ .

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la première transformation est un sous échantillonnage, avec une fréquence d'échantillonnage inférieure à  $2f_0$  mais au moins égale à  $2\Delta f$ , produisant un seul signal transformé  $K_1(t)$ , la

deuxième transformation est une inversion temporelle transformant le signal  $K_1(t)$  en  $K'_1(t)=K_1(-t)$ , et la troisième transformation est un filtrage de bande passante sensiblement égale à  $\Delta f$  et centrée sur  $f_0$ , transformant  
5  $K'_1(t)$  en  $s(-t)$ .

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la première transformation est un décalage en fréquence vers le bas, en bande intermédiaire, produisant un seul premier signal  
10 transformé  $K_1(t)$ , la deuxième transformation est une inversion temporelle transformant le signal  $K_1(t)$  en  $K'_1(t)=K_1(-t)$ , et la troisième transformation est un décalage en fréquence vers le haut, inverse dudit décalage en fréquence vers le bas.

15 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les première et troisième transformations sont réalisées sur des signaux analogiques, chaque premier signal transformé subit un échantillonnage et la deuxième transformation est réalisée  
20 numériquement avant de convertir chaque deuxième signal transformé en signal analogique.

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel l'échantillonnage est réalisé à une fréquence d'échantillonnage inférieure à  $f_0$ .

25 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'onde est électromagnétique.

12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel la fréquence centrale  $f_0$  est comprise entre 0,7 et 50 GHz.

30 13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel la fréquence centrale  $f_0$  est comprise entre 0,7 et 10 GHz.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel l'onde est choisie parmi les ondes acoustiques et les ondes élastiques.

FIG.1.

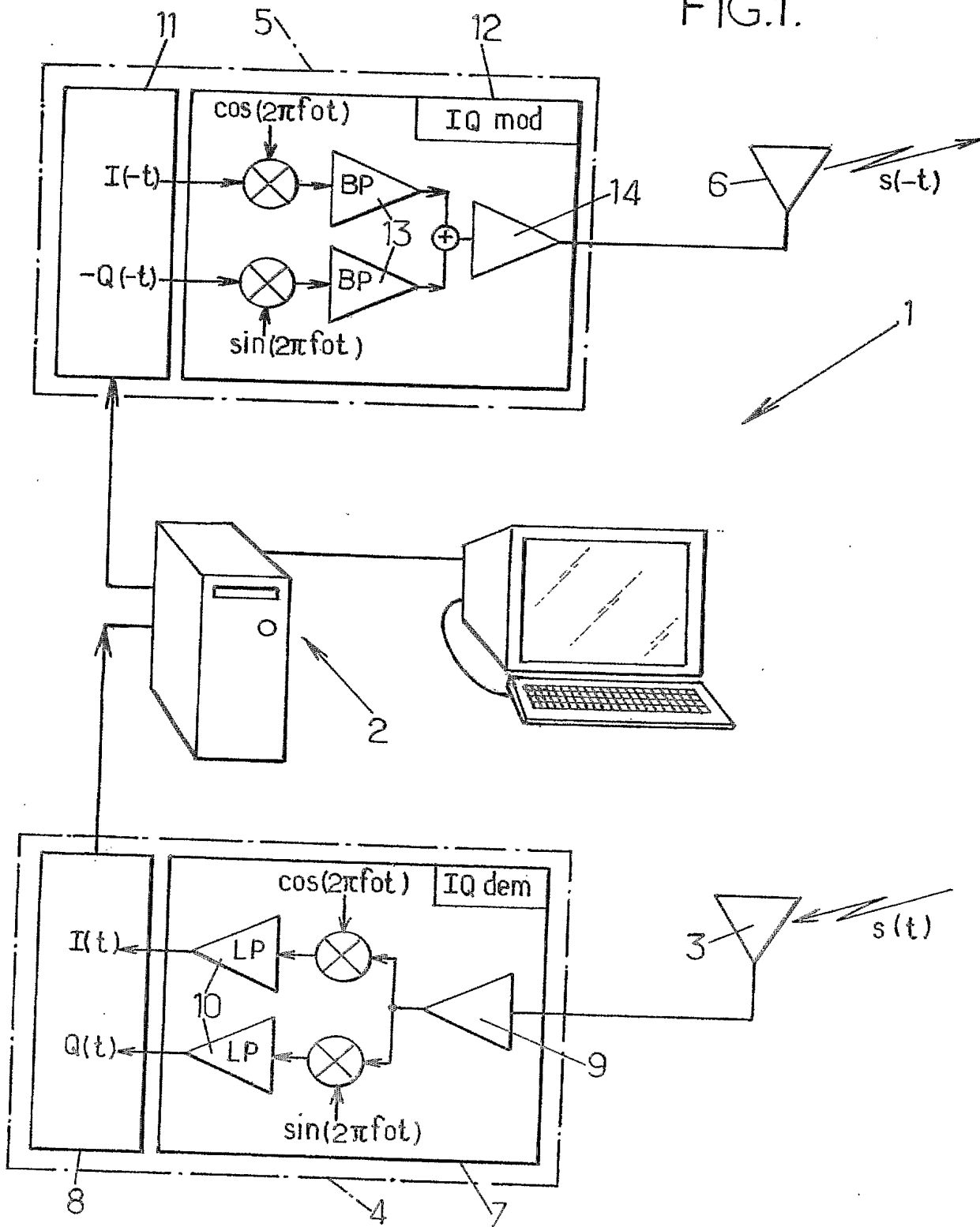


FIG.2.

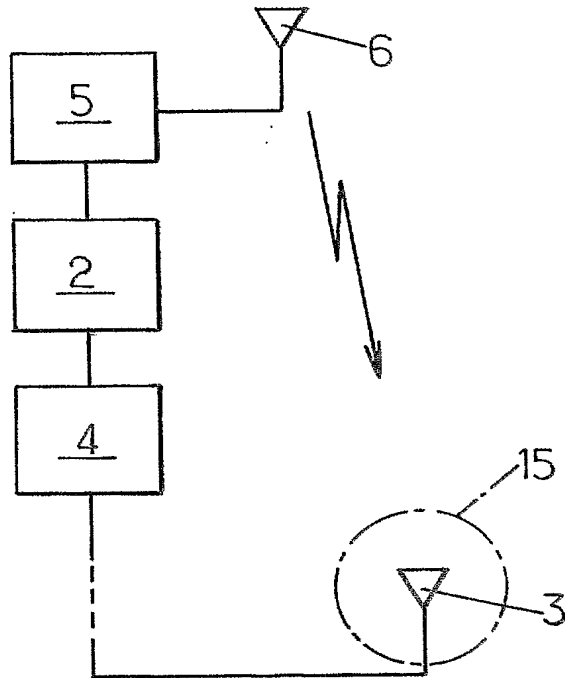
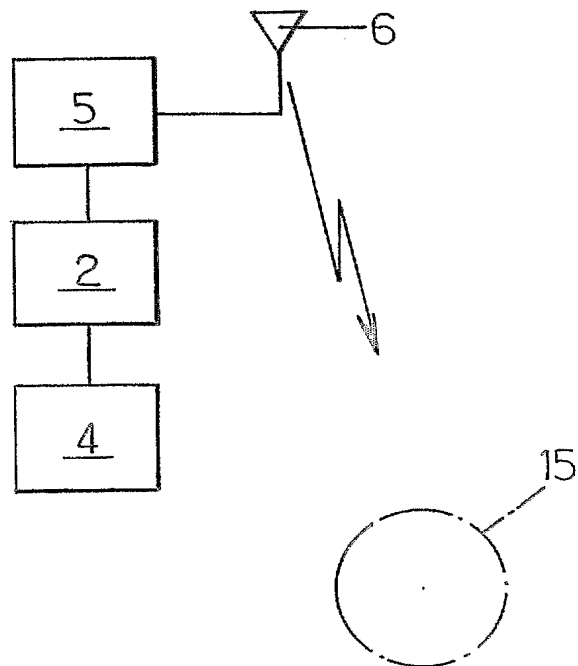


FIG.3.





reçue le 05/05/04



**BREVET D'INVENTION**

**CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11235\*02

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75300 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 2.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif)		BFF040089	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		6403846	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)			
PROCÉDE POUR INVERSER TEMPORELLEMENT UNE ONDE.			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>			
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS -			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		FINK Mathias	
Prénoms			
Adresse	Rue	16 rue Edouard Laferrière 92190 MEUDON FRANCE	
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		LEROSEY Geoffroy	
Prénoms			
Adresse	Rue	101 rue du Dessous des Berges 75013 PARIS FRANCE	
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		DERODE Arnaud	
Prénoms			
Adresse	Rue	196 rue de Tolbiac 75013 PARIS FRANCE	
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		Le 13 avril 2004  CABINET PLASSERAUD  Eric BURBAUD  94-0304	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

 DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2./2.  
 (Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		BFF040089	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		06 03845	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
PROCÉDE POUR INVERSER TEMPORELLEMENT UNE ONDE.			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS -			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		DE ROSNY Julien	
Prénoms			
Adresse	Rue	154 rue de Charenton	75012 PARIS FRANCE
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		TOURIN Arnaud	
Prénoms			
Adresse	Rue	65 rue Ernest Renan	92310 SEVRES FRANCE
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		Le 13 avril 2004  CABINET PLASSERAUD  Eric BURBAUD  94-0304	

